

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
7. Oktober 2004 (07.10.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/085816 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F02C 7/143**, 9/16, 9/28, F01D 17/08

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/003184

(22) Internationales Anmeldedatum: 25. März 2004 (25.03.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
103 14 389.0 28. März 2003 (28.03.2003) DE
03022209.5 30. September 2003 (30.09.2003) EP

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

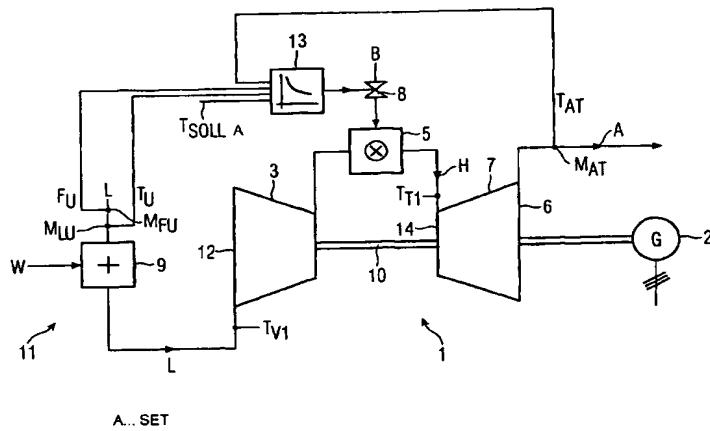
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **NUDING, Joachim-René** [DE/DE]; Zum Driegelrath 22, 40885 Ratingen (DE). **PELS LEUSDEN, Christoph** [DE/DE]; Gerberstrasse 7, 45468 Mülheim an der Ruhr (DE). **TAPPEN, Marco** [DE/DE]; Wolfsbank 3, 45472 Mülheim an der Ruhr (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: TEMPERATURE MEASURING DEVICE AND REGULATION OF THE TEMPERATURE OF HOT GAS OF A GAS TURBINE

(54) Bezeichnung: TEMPERATURMESSEINRICHTUNG UND REGELUNG FÜR DIE HEIßGASTEMPERATUR EINER GAS-TURBINE



WO 2004/085816 A1

(57) Abstract: The invention relates to a regulation of the temperature of a hot gas (H) of a gas turbine (1), particularly of a stationary gas turbine used for generating electricity, which comprises an injecting device (9) for injecting a liquid (W) into an airflow (L), which can be drawn into a compressor (3) and with the aid of which a fuel (B) inside a combustion chamber (5), which is situated downstream, combusts while producing the hot gas (H) that is subsequently expanded when flowing through the turbine part (7) located downstream. A temperature measuring device (M_U) is provided that measures the temperature of the airflow (L) before the compressor (3), whereby the temperature of the hot gas is regulated by the quantity of fuel. The aim of the invention is to provide a regulation with which, during wet compression operation, the serviceable life of the components subjected to the action of hot gas is lengthened. To this end, the invention provides that the temperature measuring device (M_U) is mounted before the injecting device (9), and that the temperature (T_v1) of the airflow (L) is calculated at the entry (12) of the compressor by using the measured temperature (T_u).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Regelung für die Heißgasttemperatur eines Heißgases (H) einer Gasturbine (1), insbesondere einer stationären Gasturbine zur Stromerzeugung, die eine Eindüsvorrichtung (9) zum Eindüsen einer Flüssigkeit (W) in einen von einem Verdichter (3) ansaugbaren Luftstrom (L) aufweist, mit

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart):** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,

TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

dessen Hilfe ein Brennmittel (B) in einer nachgeordneten Brennkammer (5) unter Bildung des Heißgases (H) verbrennt, das sich anschließend beim Durchströmen des nachgeordneten Turbinenteils (7) entspannt, mit einer die Temperatur des Luftstroms (L) vor dem Verdichter (3) erfassende Temperaturmesseinrichtung (M_{TU}), wobei die Heißgastemperatur durch die Menge des Brennmittels geregelt wird. Um eine Regelung anzugeben, bei der im Wet-Compression-Betrieb die Lebensdauer der heißgasbeaufschlagten Komponenten erhöht wird, wird vorgeschlagen, dass die Temperaturmesseinrichtung (M_{TU}) vor der Eindüsvorrichtung (9) angeordnet ist und dass die Temperatur (T_{v1}) des Luftstromes (L) am Eintritt (12) des Verdichters mittels der gemessenen Temperatur (T_u) berechnet wird.

Beschreibung

TEMPERATURMESSEINRICHTUNG UND REGELUNG FÜR DIE HEISSGASTEMPRATUR EINER
GASTURBINE

5

Die Erfindung betrifft eine Gasturbine, insbesondere eine stationäre Gasturbine zur Stromerzeugung, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und eine Temperaturmesseinrichtung zur Erfassung der Temperatur des Luftstroms einer Gasturbine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 5. Des weiteren betrifft die Erfindung eine Regelung für die Heißgastemperatur einer Gasturbine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 6.

Es ist bekannt, dass stationäre Gasturbinen zur Erzeugung von mechanischer Energie eingesetzt werden, die mittels eines Generators meist in elektrische Energie umgewandelt wird. In der Gasturbine wird dazu ein fossiler Brennstoff mit einem von dem Verdichter verdichteten Luftstrom zu einem Heißgas verbrannt, das sich anschließend in einer Turbine am Rotor arbeitsleistend entspannt. Die Gasturbine wird dabei so betrieben, dass ausreichend Energie an der Rotorwelle zur Erzeugung der elektrischen Energie abgegeben wird, wobei eine maximale Temperatur des Heißgases am Turbineneintritt nicht überschritten werden soll.

25

Die Turbineneintrittstemperatur ist aufgrund ihrer hohen Werte nicht unmittelbar messbar. Daher wird die am Turbinenaustritt herrschende Temperatur des Abgases erfasst, aus der sich dann die Turbineneintrittstemperatur rechnerisch bestimmen lässt. Über die Menge des in die Brennkammer eingebrachten Brennstoffs ist die Turbinenaustrittstemperatur und somit indirekt auch die Turbineneintrittstemperatur regelbar, wobei diese auch von der Temperatur der Luft am Verdichtereintritt abhängig sind. Zur Vereinfachung der Regelung der Gasturbine wird eine Hilfsgröße mittels eines mathematischen Modells berechnet, bei welcher die Abhängigkeit der Turbinenaustrittstemperatur von der Verdichtereintrittstemperatur

nicht mehr vorhanden ist. Diese Hilfsgröße wird als korrigierte Turbinenaustrittstemperatur bezeichnet. Sie ist lediglich von der Menge des verbrauchten Brennstoffs abhängig, so dass sich eine einfache Regelung der Gasturbine ergibt. Die 5 Regelung ist zwar ferner von der Netzfrequenz des vom Generator erzeugten Stromes abhängig, jedoch bleibt dieser Einfluss hier unberücksichtigt.

Zur Leistungssteigerung der Gasturbine kann dem vom Verdichter angesaugten Luftstrom noch vor der Verdichtung Wasser 10 zugeführt werden, um den Massenstrom durch die Gasturbine zu erhöhen. Dieser Betrieb ist allgemein als Wet-Compression-Betrieb oder als "Nasse Verdichtung" bekannt.

15 Die Temperatur der angesaugten Luft weicht regelmäßig von der Temperatur der eingedüsten Flüssigkeit ab. Da die am Eintritt des Verdichters angebrachten Temperaturmesseinrichtungen zur Messung der Lufttemperaturen von der eingebrochenen Flüssigkeit benetzt werden, erfassen die Temperaturmesseinrichtungen 20 nicht die Temperatur der Luft, sondern die der Flüssigkeit.

Wenn dann aufgrund einer nach der Messung scheinbar höheren Verdichtereintrittstemperatur eine niedrigere Turbinenaustrittstemperatur bestimmt wird als die tatsächlich vorhandene, erhöht der Regler der Gasturbine die Brennstoffzufuhr 25 in die Brennkammer, um den vermeintlichen Unterschied zu kompensieren. Dabei wird jedoch die Gasturbine überfeuert, d.h. die tatsächliche Turbineneintrittstemperatur kann größer als die maximal erlaubte Turbineneintrittstemperatur werden. Die 30 Gasturbine wird unterfeuert, wenn eine niedrigere Verdichtereintrittstemperatur gemessen wird als die tatsächliche.

Die Überfeuerung der Gasturbine kann zu einer Überhitzung der heißgasbeaufschlagten Komponenten und somit zu einer Ver- 35 ringerung ihrer Lebensdauer führen, oder auch zu Defekten. Dagegen führt die Unterfeuerung der Gasturbine zu einem Leistungsverlust.

Die Aufgabe der Erfindung ist eine Gasturbine, bei der im Wet-Compression-Betrieb die Lebensdauer der heißgasbeaufschlagten Komponenten erhöht und trotzdem eine größtmögliche 5 Leistungsabgabe erreicht wird. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Erzielung einer Regelung, die einen solchen Betrieb realisiert. Ferner ist es Aufgabe der Erfindung eine dazu entsprechende Temperaturmesseinrichtung anzugeben.

10 Die auf die Gasturbine gerichtete Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

15 Die Lösung sieht vor, dass die Temperaturmesseinrichtung in Strömungsrichtung der Luft gesehen vor der Eindüsvorrichtung angeordnet ist und dass die Temperatur des Luftstromes am Eintritt des Verdichters mittels der gemessenen Lufttemperatur berechnet wird. Daher kann die eingebrachte Flüssigkeit die Temperaturmesseinrichtungen nicht benetzen, so dass immer 20 die Temperatur des angesaugten Luftstroms gemessen wird. Ein einfacher Schutz der Temperaturmesseinrichtungen mittels Schutzrohre behebt das Problem nicht, da die Temperaturmess- einrichtungen für diesen Fall die Temperatur der Schutzrohre messen würde, die mit der Flüssigkeit benetzt wären.

25 In einer vorteilhaften Weiterbildung ist die Feuchte des Luftstroms mittels Luftfeuchte-Messeinrichtungen vor der Eindüsvorrichtung bestimmbar. Durch die Kenntnis der Luftfeuchte und Lufttemperatur des angesaugten Luftstroms kann 30 eine Verdunstung der eingebrachten Flüssigkeit auf dem Weg bis zu dem Verdichtereintritt bestimmt werden. Unter Ein- beziehung der Luftfeuchte kann die Berechnung der Temperatur am Eintritt des Verdichters besonders genau erfolgen.

35 Wenn die Temperatur des Luftstroms am Verdichtereintritt mittels einer Funktion anhand von Lufttemperatur- und

Feuchteverteilungen berechnet wird, ist diese besonders einfach möglich.

In einer vorteilhaften Weiterbildung sind die Lufttemperatur-
5 und Feuchteverteilungen in Form von Diagrammen vorgebar, so dass die Abhängigkeit der Verdunstung der eingedüsten Flüssigkeit im Luftstrom besonders einfach darstellbar ist. Dies trägt zu einer einfachen Berechnung bei.

10 Die auf die Temperaturmesseinrichtung gerichtete Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 5 gelöst. Die Vorteile der Temperaturmesseinrichtung entsprechen sinngemäß denen der Gasturbine.

15 Die auf die Regelung gerichtete Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 6 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

20 Die Lösung sieht vor, dass die Temperaturmesseinrichtung vor der Eindüsvorrichtung angeordnet ist und dass die Lufttemperatur des Luftstromes am Eintritt des Verdichters mittels der gemessenen Temperatur berechnet wird. Die Vorteile der Regelung entsprechen sinngemäß denen der Gasturbine.

25 In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Regelung wird mit einer 100%igen Evaporierung eine minimal mögliche Temperatur bestimmt, die als Ersatz für die Temperatur am Eintritt des Verdichters verwandt wird. Es wird dabei angenommen, dass die durch die Eindüsvorrichtung eingebrachte Flüssigkeit soweit 30 verdampft, dass sich eine relative Luftfeuchte von 100% am Verdichtereintritt einstellt. Unter dieser Annahme kann in Verbindung mit der gemessenen Luftfeuchte und Lufttemperatur eine minimal erreichbare (kleinstmögliche) Temperatur am Verdichtereintritt bestimmt werden. Wird nun als Temperatur 35 des Luftstromes am Eintritt des Verdichters die minimal mögliche Temperatur verwendet, so ist die tatsächlich herrschende Temperatur am Verdichtereintritt immer größer als

die minimal mögliche Temperatur, da eine Luftfeuchte von 10 0% ohne äußere Einwirkungen nie erreicht wird. Für diesen Fall wird die Gasturbine immer unterfeuert. Ein Überhitzen der heißgasbeaufschlagten Komponenten wird somit vermieden, so dass die Lebensdauer der Komponenten nicht verringert wird.

Eine verbesserte Regelung der Gasturbine ergibt sich, wenn die Temperatur des Luftstroms am Eintritt des Verdichters unter Berücksichtigung der tatsächlichen Evaporierung der eingedüsten Flüssigkeit im Luftstrom berechnet wird. Es wird ein Wirkungsgrad für die Evaporierung durch Berechnungen und/oder Versuche ermittelt, aus dem sich mit Hilfe der minimalen möglichen Temperatur die am Verdichtereintritt herrschende Lufttemperatur bestimmt wird. Mit dieser Regelung ist es möglich, sich die realen Bedingungen bezüglich der Verdunstung der eingebrachten Flüssigkeit auf dem Weg bis zum Verdichtereintritt abzubilden, und so einen sicheren und leistungsstärkeren Betrieb der Gasturbine herzustellen, der ein über- wie unterfeuern der Gasturbine vermeidet.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Regelung wird die Menge der eingedüsten Flüssigkeit in den Luftstrom in Abhängigkeit der Evaporierung geändert. Üblicherweise sind die Verdichter von Gasturbinen für eine vorbestimmte Flüssigkeitsmenge dimensioniert, die während der Verdichtung verdampft. Durch die Evaporierung verdampft jedoch bereits vor der Verdichtung ein geringer Anteil der eingedüsten Flüssigkeit, so dass der Verdichter nicht im optimalen Bereich betrieben wird. Durch eine Anpassung der Menge der eingedüsten Flüssigkeit kann dieser Nachteil umgangen werden.

Der Wirkungsgrad der Evaporierung, der im wesentlichen von der Tröpfchencharakteristik sowie der Geometrie, d.h. von der räumlichen Anordnung der Komponenten eines Verdichters abhängig ist, kann aus Versuchen abgeschätzt und/oder Berechnungen ermittelt werden, die dann in Modellen oder Formeln im Regler hinterlegt werden. Durch das Vermeiden der Unterfeuerung wird

die Leistungsausbeute der Gasturbine erhöht und durch das Verhindern der Überfeuerung der Gasturbine wird die Lebensdauer der heißgasführenden Komponenten nicht beeinträchtigt.

5 Die Vorteile der Regelung entsprechen sinngemäß den Vorteilen der Gasturbine.

Die Erfindung wird anhand einer Zeichnung erläutert. Dabei zeigt

10

Fig. 1 eine Gasturbinenanlage und

Fig. 2 ein Ansaughaus einer Gasturbine gemäß Fig. 1.

Fig. 1 zeigt schematisch eine Gasturbinenanlage zur Umwandlung fossiler Energie in elektrische Energie mittels einer Gasturbine 1 und eines daran angekoppelten Generators

15 2. Die stationäre Gasturbine 1 weist im wesentlichen einen Verdichter 3, eine Brennkammer 5 und ein Turbinenteil 7 auf. Der Verdichter 3 ist mit dem Turbinenteil 7 und dem Generator 2 über eine gemeinsame Rotorwelle 10 verbunden.

20 Beim Betrieb der Gasturbine 1 wird vom Verdichter 3 Luft durch ein Ansaughaus 11 angesaugt und verdichtet. Die verdichtete Luft wird in einem Brenner mit einem Brennmittel B, welches durch ein Absperrorgan 8 zuführbar ist, vermischt und der Brennkammer 5 zugeführt. Das Gemisch verbrennt beim Betrieb zu einem Heißgas H, welches anschließend in den Turbinenteil 7 hineinströmt. Dort entspannt sich das Heißgas H und treibt dabei die Rotorwelle 10 an. Danach verlässt das Heißgas H als Abgas A in einen nicht weiter dargestellten Abgaskanal die Gasturbine 1. Die Rotorwelle 10 treibt den Verdichter 3 als auch den Generator 2 an.

Zur Regelung des Betriebs der Gasturbine 1 wird die Temperatur T_{AT} des Heißgases H am Austritt 6 des Turbinenteils 7 mittels einer Temperaturmesseinrichtung M_{AT} überwacht, da die

am Eintritt 14 des Turbinenteils 7 herrschende Temperatur T_{T1} des Heißgases H nicht messbar ist. Über die Menge des eingebrachten Brennmittels B in die Brennkammer 5 kann sowohl die Leistung der Gasturbine 1 als auch die Turbinenaustrittstemperatur T_{AT} und somit indirekt die Turbineneintrittstemperatur T_{T1} geregelt werden. Eine Erhöhung des Volumenstroms des Brennmittels B in die Gasturbine 1 führt zu einer höheren Temperatur des Heißgases H und zu einer Leistungssteigerung der Gasturbine 1. Dazu regelt der Regler 13 das Absperrorgan 8, welches er über seinen Ausgang ansteuert.

Da die Turbineneintrittstemperatur T_{T1} auch von der Temperatur T_{v1} des angesaugten Luftstroms L vor dem Verdichter 3 abhängig ist, wird diese ebenfalls stetig d.h. während der gesamten Betriebsdauer zyklisch wiederkehrend erfasst oder bestimmt.

Mittels des Reglers 13 wird die Abhängigkeit der Turbinenaustrittstemperatur T_{AT} von der Lufttemperatur T_{v1} eliminiert, indem eine korrigierte Turbinenaustrittstemperatur T_{ATK} gemäß

$$T_{ATK} = T_{AT} - k_1 \cdot T_{v1} \quad (1)$$

als Hilfsgröße bestimmt wird. Die korrigierte Turbinenaustrittstemperatur T_{ATK} ist demnach nur vom Brennmitteleinsatz B abhängig, so dass die Gasturbine 1 durch die Regelung der korrigierten Turbinenaustrittstemperatur T_{ATK} als Regelgröße und mit der Einstellung des Volumenstroms des Brennmittels B als Stellgröße leichter geregelt werden kann. Die korrigierte Turbinenaustrittstemperatur T_{ATK} könnte auch anhand einer quadratischen Gleichung oder anhand von anderen Funktionen ermittelt werden.

Der Regler 13 weist einen Eingang auf, an dem der Sollwert T_{Soll} der korrigierten Turbinenaustrittstemperatur einstellbar ist. Im Regler 13 erfolgt der Vergleich des Sollwerts T_{Soll} mit der bestimmten korrigierten Turbinenaustrittstemperatur T_{ATK} . Ist der Istwert, die korrigierte Turbinenaustritts-

temperatur T_{ATK} kleiner - größer - als der Sollwert T_{Soll} , so erhöht - erniedrigt - der Regler 13 über das Absperrorgan 8 die Brennmittelzufuhr.

5 Wird die Gasturbine 1 ohne das Einbringen einer Flüssigkeit in den Luftstrom L betrieben, so kann mit der vor dem Ansaughaus 11 angeordneten Temperaturmesseinrichtung M_{LU} direkt die am Verdichtereintritt 12 herrschende Temperatur T_{v1} des Luftstroms gemessen werden.

10

In Fig. 2 ist das Ansaughaus 11 der Gasturbine 1 gezeigt. Die Temperaturmesseinrichtungen M_{TU} sind dabei oberhalb einer Eindüsvorrichtung 9 angeordnet, so dass die eingebrachte Flüssigkeit W die Temperaturmesseinrichtungen M_{TU} und die 15 Luftfeuchte-Messeinrichtungen M_{FU} nicht benetzen.

Beim Wet-Compression-Betrieb wird in den angesaugten Luftstrom L im Ansaughaus 11 über die Eindüsvorrichtung 9 eine Flüssigkeit W, insbesondere Wasser, eingedüst.

20

Stromaufwärts des Ansaughauses 11 wird die Temperatur T_v der angesaugten Luft mittels der Temperaturmesseinrichtungen M_{LU} und die Luftfeuchte F_v mittels der Luftfeuchte-Messeinrichtungen M_{FU} bestimmt. Deren Ausgänge sind mit den Eingängen 25 des Reglers 13 verbunden.

In Abhängigkeit der gemessenen Werte und in Verbindung anhand von Modellen wird im Regler 13 die zur Regelung nötige am Eintritt 12 des Verdichters 3 herrschende Temperatur T_{v1} bestimmt. Somit kann die Regelung der Gasturbine 1 durch die 30 Regelung der Turbinenaustrittstemperatur T_{ATK} unter Anwendung der Gleichung (1) mittels der Menge des eingedüsten Brennmittels B erfolgen.

35 Ist ein Betrieb der Gasturbine 1 mit dem Eindüsen einer Flüssigkeit W in den vom Verdichter 3 angesaugten Luftstrom L vorgesehen, so sind zwei unterschiedliche Regelungen möglich:

die Regelung mit einer theoretischen Evaporierung, die zu einer angenommenen Luftfeuchte von 100% führt, und eine angepassten Regelung mit einer variablen Evaporierung.

5 Bei der Regelung mit der theoretischen Evaporierung wird angenommen, dass von der eingedüsten Flüssigkeit soviel evaporiert ist, dass es zu einer 100%igen Luftfeuchte im angesaugten Luftstrom L am Verdichtereintritt 12 kommt. Unter dieser Annahme wird anhand der gemessenen Temperatur T_0 und

10 Luftfeuchte F_0 des Luftstromes L eine minimal erreichbare Temperatur $T_{WetBulb}$ bestimmt, die die Temperatur T_{v1} am Verdichtereintritt 12 ersetzt. Die so bestimmte Verdichtereintrittstemperatur T_{v1} kann rechnerisch als auch aus Diagrammen, die in elektronischer Form in der Messtechnik abgebildet

15 sind oder auch mittels mathematischer Formeln hergeleitet werden. Die Gleichung für den Regler 13 zur Bestimmung der korrigierten Turbinenaustrittstemperatur T_{ATK} lautet dann:

$$T_{ATK} = T_{AK} - k_1 \cdot T_{WetBulb} \quad (2).$$

20 Da eine Luftfeuchte von 100% im realen Betrieb nie erreicht wird, ist die tatsächliche Temperatur T_{v1} am Eintritt 12 des Verdichters 3 immer größer als die angenommene, minimal erreichbare. Durch die Verwendung der minimal erreichbaren Verdichtereintrittstemperatur $T_{WetBulb}$ wird jeweils eine zu

25 große korrigierte Turbinenaustrittstemperatur T_{ATK} bestimmt, so dass der Regler 13 stets eine zu geringe Menge des Brennstoffs B dem Brenner zur Verfügung stellt. Das Überfeuern der Gasturbine 1 wird so verhindert. Demgemäß werden die heißgasbeaufschlagten Komponenten der Gasturbine 1 wie

30 Turbinenschaufeln, Führungsringe, Plattformen und Brennkammerhitzeschilder den bestimmungsgemäßen Temperaturen ausgesetzt und deren vorzeitige Ermüdung verhindert.

Bei der angepassten Regelung der Gasturbine 1 wird eine am

35 Eintritt 12 des Verdichters 3 anstehende Luftfeuchte ermittelt, die jedoch kleiner als 100% ist und die sich in

10

Abhängigkeit der gemessenen Luftfeuchte F_u , der gemessenen Temperatur T_u des Luftstromes L und der Menge der durch die Eindüsvorrichtung 9 eingebrachten Flüssigkeit W bestimmen lässt. Zur dessen Berechnung wird der Wirkungsgrad η der

5 Verdunstung der Flüssigkeit W im angesaugten Luftstrom L zu r Bestimmung der Temperatur T_{v1} am Eintritt 12 des Verdichters 3 mit einbezogen.

Der Wirkungsgrad der Aufsättigung des Luftstroms L mit einer r 10 Flüssigkeit W kann gemäß

$$\eta = \frac{T_u - T_{v1}}{T_u - T_{WetBulb}} \quad (3)$$

errechnet werden.

Durch das Auflösen der Gleichung (3) nach T_{v1} und einsetzen 15 in Gleichung (1) erhält man:

$$T_{ATK} = T_{AT} - k_1 \cdot [T_u - \eta \cdot (T_u - T_{WetBulb})] \quad (4)$$

Der von der Tröpfchencharakteristik des eingedüsten Wassers sowie der Geometrie, d.h. von der räumlichen Anordnung der Komponenten des Verdichters 3 abhängige Wirkungsgrad η der 20 Evaporierung kann rechnerisch und/oder durch Versuche ermittelt werden, die dann anhand eines Modells oder eines Diagramm in elektronischer Form im Regler 13 hinterlegt ist.

Eine Evaporierung der Flüssigkeit W, die zu einer geringeren 25 Luftfeuchte am Eintritt 12 des Verdichters 3 führt als 100%, beschreibt die realen Bedingungen besser, so dass eine verbesserte Regelung der Gasturbine 1 erfolgt.

Eine nach Gleichung (4) bestimmte korrigierte Turbinenaus- 30 trittstemperatur T_{ATK} ist kleiner als eine nach Gleichung (2) bestimmte korrigierte Turbinenaustrittstemperatur T_{ATK} , so dass Leistungsverluste durch eine als zu gering angenommene Turbineneintrittstemperatur T_{T1} vermieden werden.

11

Ferner kann die Menge an Flüssigkeit W, die vor Eintritt 12 in den Verdichter 3 verdampft, bestimmt werden, die dann zusätzlich über die Eindüsvorrichtung 9 eingedüst wird. Dies führt zu einer weiteren Leistungssteigerung der Gasturbine 1, 5 da lediglich der bei der Verdichtung - also im Verdichter 3 - verdunstende Anteil der Flüssigkeit W zu einer Leistungssteigerung der Gasturbine 1 durch Wet-Compression beiträgt.

Patentansprüche

1. Gasturbine (1), insbesondere eine stationäre Gasturbine zur Stromerzeugung, mit einer Eindüsvorrichtung (9) zum Eindüsen einer Flüssigkeit (W) in einen von einem Verdichter (3) ansaugbaren Luftstrom (L), mit dessen Hilfe ein Brennmittel (B) in einer nachgeordneten Brennkammer (5) unter Bildung eines Heißgases (H) verbrennbar ist, das sich beim Durchströmen des nachgeordneten Turbinenteils (7) entspannt, und mit einer Temperaturmesseinrichtung (M_{LU}) zur Erfassung der Temperatur des Luftstroms (L), dadurch gekennzeichnet, dass die Temperaturmesseinrichtung (M_{TU}) vor der Eindüsvorrichtung (9) angeordnet ist und dass die Temperatur (T_{v1}) des Luftstromes (L) am Eintritt (12) des Verdichters (3) mittels der gemessenen Temperatur (T_u) berechnet wird.
- 20 2. Gasturbine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Eindüsvorrichtung (9) mittels Luftfeuchte-Messeinrichtungen (M_{FU}) die Feuchte des Luftstroms (L) bestimmbar ist.
- 25 3. Gasturbine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur (T_{v1}) mittels einer Funktion anhand von Temperatur- und Feuchteverteilungen berechnet wird.
- 30 4. Gasturbine nach Anspruch 1,2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur- und Feuchteverteilungen in Form von Diagrammen vorgebbar sind.

5. Temperaturmesseinrichtung (M_{Tu}) zur Erfassung der Temperatur des Luftstroms (L) vor dem Verdichter (3) einer Gasturbine (1), insbesondere einer stationären Gasturbine zur Stromerzeugung,

5 welche eine Eindüsvorrichtung (9) zum Eindüsen einer Flüssigkeit (W) in den von dem Verdichter (3) ansaugbaren Luftstrom (L) aufweist, mit dessen Hilfe ein Brennmittel (B) in einer nachgeordneten Brennkammer (5) unter Bildung eines Heißgases (H) verbrennbar

10 ist, das sich beim Durchströmen des nachgeordneten Turbinenteils (7) entspannt, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperaturmesseinrichtung (M_{Tu}) vor der Eindüsvorrichtung (9) angeordnet ist und

15 dass die Temperatur (T_{v1}) des Luftstromes (L) am Eintritt (12) des Verdichters (3) mittels der gemessenen Temperatur (T_u) berechnet wird.

6. Regelung für die Heißgastemperatur eines Heißgases (H) einer Gasturbine (1), insbesondere einer stationären Gasturbine zur Stromerzeugung, die eine Eindüsvorrichtung (9) zum Eindüsen einer Flüssigkeit (W) in einen von einem Verdichter (3) ansaugbaren Luftstrom (L) aufweist, mit dessen Hilfe ein Brennmittel (B) in einer nachgeordneten Brennkammer (5) unter Bildung des Heißgases (H) verbrennt, das sich anschließend beim Durchströmen des nachgeordneten Turbinenteils (7) entspannt, mit einer die Temperatur des Luftstroms (L) vor dem

20 Verdichter (3) erfassende Temperaturmesseinrichtung (M_{Tu}), wobei die Heißgastemperatur durch die Menge des Brennmittels geregelt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperaturmesseinrichtung (M_{Tu}) vor der

25 Eindüsvorrichtung (9) angeordnet ist und dass die Temperatur (T_{v1}) des Luftstromes (L) am Eintritt (12) des Verdichters (3) mittels der gemessenen Temperatur

(T_u) berechnet wird.

7. Regelung nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
5 dass die Heißgastemperatur am Austritt (6) des Turbinenteils
(7) erfasst wird.

8. Regelung nach einem der Ansprüche 6 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
10 dass vor der Eindüsvorrichtung (9) mittels Luftfeuchte-
Messeinrichtungen (M_{FU}) die Feuchte (F_u) des Luftstroms (L)
bestimmbar ist.

9. Regelung nach einem der Ansprüche 6 bis 8,
15 dadurch gekennzeichnet,
dass die Temperatur (T_{v1}) zu einer minimal möglichen
Temperatur ($T_{wetBulb}$) bestimmt wird, bei der eine derart große
Evaporierung angenommen wird, dass am Eintritt (12) des
Verdichter (3) eine 100%-ige Luftfeuchte (F_u) herrscht.

20 10. Regelung nach einem der Ansprüche 6 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Temperatur (T_{v1}) unter Berücksichtigung der
Evaporierung der eingedüsten Flüssigkeit (W) im Luftstrom (L)
25 berechnet wird.

11. Regelung nach einem der Ansprüche 6 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Menge der eingedüsten Flüssigkeit (W) in den Luft-
30 strom (L) in Abhängigkeit der Evaporierung geändert wird.

12. Regelung nach einem der Ansprüche 6 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Flüssigkeit Wasser, insbesondere destilliertes
35 Wasser ist.

15

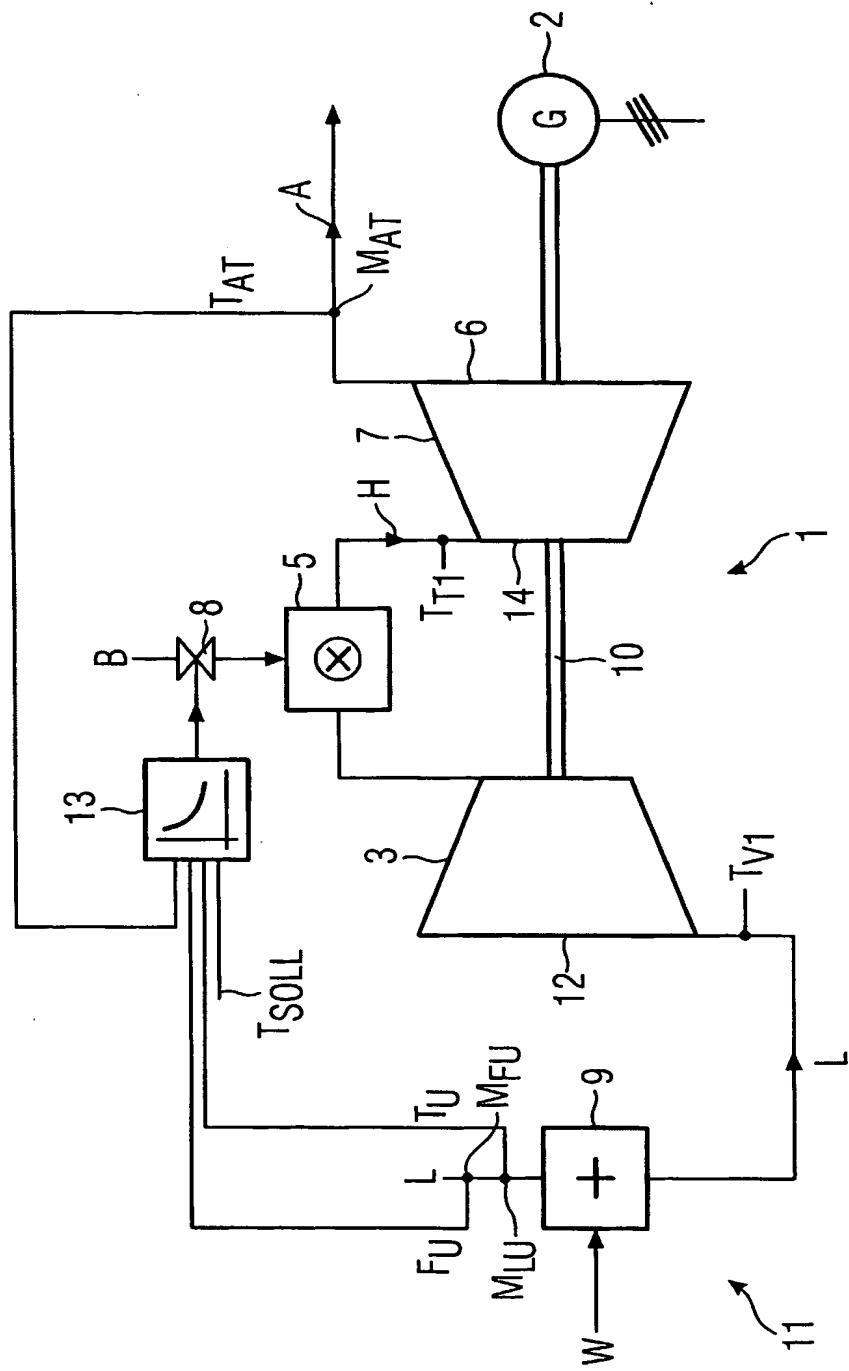
13. Regelung nach einem der Ansprüche 6 bis 12,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Temperatur (T_{v1}) mittels einer Funktion anhand von
Temperatur- und Feuchteverteilungen berechnet wird.

5

14. Regelung nach einem der Ansprüche 6 bis 13,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Funktionen in Form von Diagrammen vorgebbar sind.

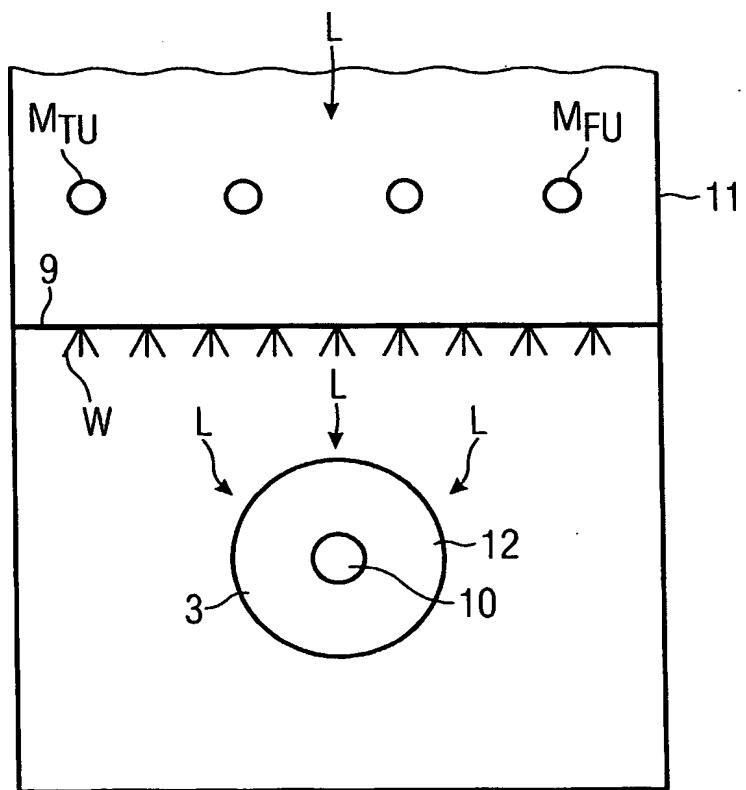
1/2

FIG 1



2/2

FIG 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/00318.4

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 F02C7/143 F02C9/16 F02C9/28 F01D17/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 F02C F03C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002/083712 A1 (TREWIN RICHARD ROBERT ET AL) 4 July 2002 (2002-07-04) paragraph '0004! - paragraph '0005! paragraph '0028! - paragraph '0031! paragraph '0037! - paragraph '0051! abstract; figures -----	1-6, 8, 11-13
X	EP 1 231 369 A (GEN ELECTRIC) 14 August 2002 (2002-08-14) paragraph '0001! - paragraph '0002! paragraph '0023! - paragraph '0027! paragraph '0030! - paragraph '0033! abstract; figures -----	1-8, 12, 13 4, 14
A		-/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the International filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 July 2004

Date of mailing of the international search report

28/07/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

O'Shea, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/003184

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No.
A	EP 1 203 866 A (GEN ELECTRIC) 8 May 2002 (2002-05-08) paragraph '0003! - paragraph '0004! paragraph '0012! - paragraph '0013! abstract; figures ----- US 6 357 236 B1 (UTAMURA MOTOAKI) 19 March 2002 (2002-03-19) abstract; figures 1-3 -----	1-6, 11-14
A		1-4, 11-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/003184

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
US 2002083712	A1	04-07-2002	CZ EP JP	20014556 A3 1225306 A1 2002285861 A		16-04-2003 24-07-2002 03-10-2002
EP 1231369	A	14-08-2002	US EP JP US	2002106001 A1 1231369 A2 2002357320 A 2004076218 A1		08-08-2002 14-08-2002 13-12-2002 22-04-2004
EP 1203866	A	08-05-2002	US CZ EP JP	6478289 B1 20013438 A3 1203866 A2 2002201958 A		12-11-2002 12-06-2002 08-05-2002 19-07-2002
US 6357236	B1	19-03-2002	JP JP CN CN DE DE EP EP JP JP JP JP JP JP US US US US US	2877098 B2 9236024 A 1456795 A 1162063 A , B 69630359 D1 69630359 T2 1340895 A2 0781909 A2 11287132 A 2980095 B2 10246127 A 11190228 A 6216443 B1 2003196439 A1 6286301 B1 6598401 B1 2003029157 A1 6378284 B1 2002026783 A1		31-03-1999 09-09-1997 19-11-2003 15-10-1997 20-11-2003 24-06-2004 03-09-2003 02-07-1997 19-10-1999 22-11-1999 14-09-1998 13-07-1999 17-04-2001 23-10-2003 11-09-2001 29-07-2003 13-02-2003 30-04-2002 07-03-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2004/003184

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 F02C7/143 F02C9/16 F02C9/28 F01D17/08

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 F02C F03C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2002/083712 A1 (TREWIN RICHARD ROBERT ET AL) 4. Juli 2002 (2002-07-04) Absatz '0004! – Absatz '0005! Absatz '0028! – Absatz '0031! Absatz '0037! – Absatz '0051! Zusammenfassung; Abbildungen -----	1-6, 8, 11-13
X	EP 1 231 369 A (GEN ELECTRIC) 14. August 2002 (2002-08-14) Absatz '0001! – Absatz '0002! Absatz '0023! – Absatz '0027! Absatz '0030! – Absatz '0033! Zusammenfassung; Abbildungen -----	1-8, 12, 13 4, 14
A		-/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
 A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
 E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
 L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
 O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Aussstellung oder andere Maßnahmen bezieht
 P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
 X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
 Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
 & Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 20. Juli 2004	Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts 28/07/2004
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter O’Shea, G

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2004/003184

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 1 203 866 A (GEN ELECTRIC) 8. Mai 2002 (2002-05-08) Absatz '0003! - Absatz '0004! Absatz '0012! - Absatz '0013! Zusammenfassung; Abbildungen -----	1-6, 11-14
A	US 6 357 236 B1 (UTAMURA MOTOAKI) 19. März 2002 (2002-03-19) Zusammenfassung; Abbildungen 1-3 -----	1-4, 11-14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2004/003184

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2002083712	A1	04-07-2002	CZ EP JP	20014556 A3 1225306 A1 2002285861 A		16-04-2003 24-07-2002 03-10-2002
EP 1231369	A	14-08-2002	US EP JP US	2002106001 A1 1231369 A2 2002357320 A 2004076218 A1		08-08-2002 14-08-2002 13-12-2002 22-04-2004
EP 1203866	A	08-05-2002	US CZ EP JP	6478289 B1 20013438 A3 1203866 A2 2002201958 A		12-11-2002 12-06-2002 08-05-2002 19-07-2002
US 6357236	B1	19-03-2002	JP JP CN CN DE DE EP EP JP JP JP JP JP JP US US US US US	2877098 B2 9236024 A 1456795 A 1162063 A ,B 69630359 D1 69630359 T2 1340895 A2 0781909 A2 11287132 A 2980095 B2 10246127 A 11190228 A 6216443 B1 2003196439 A1 6286301 B1 6598401 B1 2003029157 A1 6378284 B1 2002026783 A1		31-03-1999 09-09-1997 19-11-2003 15-10-1997 20-11-2003 24-06-2004 03-09-2003 02-07-1997 19-10-1999 22-11-1999 14-09-1998 13-07-1999 17-04-2001 23-10-2003 11-09-2001 29-07-2003 13-02-2003 30-04-2002 07-03-2002